基于泛在设备互操作的机物协同技术

叶剑 朱珍民 陈援非 沈燕飞 王双全 陈益强

摘要 机物协同技术旨在基于泛在的设备互操作技术，利用互联网构建广域的数据共享和服务协同环境。本文从普适计算及普适服务应用需求出发，首先描述了泛在设备互操作标准，然后介绍了泛在设备互操作技术的两个核心功能：语义描述及匹配、泛在设备互操作中间件。最后，本文通过“爱心小屋”中远程亲情互动系统的三个应用案例，展示了机物协同技术的应用效果。

关键词 普适计算 机物协同 泛在设备互操作 互操作中间件

1 引言

普适计算的目标是“建立一个充满计算和通信能力的环境，同时使这个环境与人们逐渐地融合在一起”（引自百度百科）。在普适计算环境中，泛在设备互操作是实现计算和通信的基础要素。互操作性是开放系统的一个重要特征，泛在网络加上泛在设备为人们构成了开放式的普适计算环境。实现对这些计算资源的无缝访问和资源间的相互协同是实现普适服务的基础，而泛在设备的互联互通和互操作是实现计算资源无缝访问和资源协同等 3C 协同技术的前提，同时也是普适计算技术发展方向之一。

泛在网络技术蓬勃发展。互联网（Internet）联接了世界各地的计算机，对人们的工作和生活方式产生了巨大影响。同时，短距离无线通讯技术将更多的节点联接起来，形成无线局域网、无线个域网、无线传感器网等各种特殊用途的网络。泛在网络中的设备互联不再局限于局域网环境下的短距离连接和互通，而是以物联网为基础，依赖互联网的技术延伸，构建机对机（M2M，Machine to Machine）的设备云环境，实现广域网络环境的设备级互联、互通和互操作，并在此基础上实现数据共享和服务协同，建立真正的泛在机物协同环境。机物协同环境是一种以机器终端交互为核心的、网络化的应用服务基础平台，通过机对机的设备网络基础架构，服务于人机交互、人人交互的目标，构建设备数据及服务协同共享平台。

通过上述分析可以看出，泛在设备互联互操作构成了机物协同的技术基础。本文将从泛在设备的语义描述入手，重点介绍泛在设备中间件系统的原理设计。通过远程亲情沟通系统多个功能案例分析，说明机物协同技术在“爱心小屋[1]”中发挥的重要作用。

2 泛在设备互操作标准

泛在设备互操作标准是实现泛在机物协同的重要技术基础[1]。本节介绍 3C 协同及无线个域网应用两个领域的一些互操作标准。

2.1 3C 协同技术标准

3C（Computer、Communication 和 Consumer Electrics）协同作为新兴的技术领域具有巨大的市场前景，相关技术标准组织快速展开了标准竞争。欧洲、美国和日本先后提出了十多个数字 3C 协同方面的技术标准，中国企业也推出了一系列自主标准。这些标准包括 UPnP、DLNA、Windows Rally、IGRS、ITopHome（e 家佳）、OSGi、Home API、HAVi、UOPF、

[1] “爱心小屋”是我们综合了人-人、人-机交互和机物协同方面的技术搭建的远程亲情交互平台示范项目

ETSI、ECHONet、SALUTATION 和 EURESCOM 等，如表 1 所示。

表1 3C 协同技术标准简介

标准名称	标准简介
UPnP	UPnP（Universal Plug & Play）[2]由 UPnP™ Forum 提出，目的是为家庭网络环境提供发现服务和实现服务的应用程序编程接口（API）。基于 UPnP 协议可以实现多种家庭设备控制和多媒体播放等互操作应用。UPnP 使用各种成熟技术实现各种功能，如：采用自动 IP 地址分配机制实现 IP 网络中的设备自动寻址，采用 SSDP 协议实现设备间的相互发现，采用 SOAP 协议进行设备控制，采用 GENA 机制进行事件通知。
DLNA	DLNA（Digital Living Network Alliance）[3-6]由索尼、英特尔、微软等发起成立，旨在解决包括个人电脑、消费电器、移动设备在内的无线网络和有线网络的互联互通。DLNA 充分发掘已有的成熟技术和协议，在 UPnP 协议基础上，规范了设备在不同网络，不同设备之间互联互通的具体过程。
DPWS	DPWS (Device Profile for Web Services)[7]是 Windows Rally 技术的一个子集，即在资源有限的终端上使用的、用于实现安全的互联网服务（Web service）的最小接口集，主要用于在可接入网络的设备上提供对互联网服务的支持。DPWS 提供一些互联网服务，实现安全地发送和接收信息、动态发现互联网服务、表述互联网服务和如何预订与接收来自互联网服务的事件。DPWS 以 XML 作为数据描述和交换的标准，以 WSDL 作为服务的描述语言，以 UDDI 作为服务的注册和发现机制，以 SOAP 作为交换信息的协议。
IGRS	IGRS（信息设备资源共享协同服务）[8,9]资源描述及功能服务接口标准，使设备能够有效实现资源开放及服务协同，提高设备间功能的互操作性。其宗旨可概括为“智能互联、资源共享、协同服务”。IGRS 支持各种信息设备通过有线局域网、无线局域网、蓝牙等实现连接。传输基于传输控制协议/网间协议（TCP/IP）；设备交互消息框架基于 HTTP 协议；设备发现与资源共享基于 IGRS 基础协议；设备协同服务基于 IGRS 应用框架。
ITopHome	ITopHome[10]是将家庭控制网络和多媒体信息网络集于一体的家庭信息化平台，旨在在家庭范围内实现信息、通信、娱乐设备、家用电器、自动化、照明、保安（监控）装置及水电气热表、家庭求助报警等设备的互联和管理，以及数据和多媒体信息共享的系统。ITopHome 涉及家庭网络的体系结构、家庭主网通讯协议、家庭子网通讯协议、家庭设备描述规范、以及一致性测试规范等，构成了家庭网络标准体系的基础协议。
OSGi	OSGi（Open System Gateway initiative）[11]开放式标准和网络架构的应用集成平台，以 Java 为基础，提供跨操作系统的服务。在 OSGi 平台上，各种设备可以相互分享彼此的服务和资源。OSGi 尝试在互联网上实现非 IP 协议之间的通信，其目标是用于带有家庭自动化应用的住宅互联网网关，应用领域已扩展到数字移动电话、汽车、信息通讯业务、嵌入式的电器、家庭网关、工业计算机、台式计算机、高端服务器等。

2.2 无线个域网互操作标准

IEEE 1451[12]是“体域网”[2]内部信息通信标准,可以分为体域网内部信息通信标准和体域网外部信息通信标准。为了解决传感器与各种网络相连的问题，早在 1993 年康.李（Kang

[2] BAN， Body Area Network

Lee）等人就开始构造一种通用的智能化传感器接口标准。1995 年 4 月 IEEE 成立 P1451.1 工作组和 P1451.2 工作组，前者负责对智能变送器的公共目标模型及对相应模型的接口进行定义；后者负责制定变送器电子数据定义[3]和数字接口标准，包括智能变送器[4]和网络能力应用处理器[5]之间的通信接口协议和管脚定义分配。其中，变送器电子数据定义是一种元语言描述框架，在智能变送器和网络能力应用处理器的标准接口上，提供了一个传感器数据的统一的描述方法和封装形式，使网络能够自动地识别和处理这类智能传感器的信息。

3 泛在设备描述及语义匹配

机物协同面临的首要问题是如何克服设备运行时的“各自为政”和“语言不通”，关键之处是解决泛在设备互联互通互操作的问题。互操作包含语法互操作、语义互操作等。如果两个设备（或系统）能够进行通讯和交换数据，那么它们就具备了语法协同工作能力。对任何推进互操作性的工作而言，语法互操作性不可或缺。数据交换旨在为所有的参与方带来有用的结果，只有当参与方之间所交换的数据能够得到对方正确处理和使用的情况下，才能具备语义协同工作能力。

3.1 泛在设备描述

实现设备间互操作需要对设备进行必要的描述，包括基本描述（设备类型、厂商信息等），语法描述（互操作范畴、基本状态集、施体特性要素、受体特性要素等），语义描述（设备能力——基本状态集属性、施体特性要素属性、受体特性要素属性及各种属性约束规则等）。

泛在设备互联互操作系统要想在动态环境中准确无误地运作，必须依赖于对智能空间中泛在设备的本质及其与其他实体的关系的准确建模和描述。当一个设备进入到智能空间中后，普适计算中间件应该能够获知关于该设备的诸多信息，包括：该设备是什么？该设备有什么特征？该设备能够提供哪些功能？该设备能够对哪些实体进行操作？该设备的状态受哪些实体的影响？该设备的服务协议、接口和参数是什么？

智能空间的普适设备种类复杂，各自的属性又不同，因此需要一个明确描述设备属性的方法以便应用可以理解它们，并且方便我们查找设备。本体提供了对领域知识的共同理解和描述，支持可保证计算完整性和可判定性的逻辑推理。目前本体已被应用至普适计算建模领域，用于规范地表示领域知识。通过本体可以很好地解决设备的语义描述和二义性问题[13]。泛在设备本体也可使用 OWL 语言进行描述。泛在设备本体是描述泛在设备的有效途径，同时也是描述泛在设备领域词汇表基本术语及其关系的规范说明，如图 1 所示。

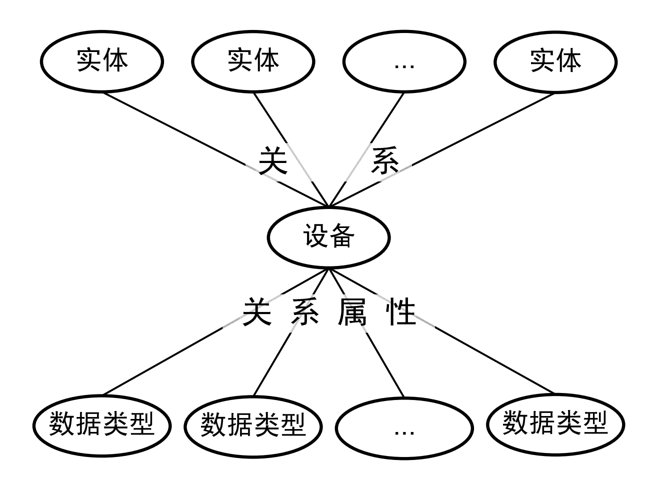


图1. 泛在设备本体

泛在设备本体是通过关系和关系属性定义的。其中关系的定义域为所定义的设备本身，

[3] TEDS ,Transducer Electronic Data Sheet
[4] smart transducer interface module (STIM)
[5] NCAP，Network Capable Application Processor

值域为智能空间本体中的其他实体； 关系属性描述了对关系的进一步限制，例如一个表示设备名称的关系属性“DeviceName"，它的值域是字符串（string）类型。泛在设备、设备服务和设备服务接口之间是松散耦合的。每个设备包含若干服务，而每一项服务包含若干输入输出项，三者并不是严格对应的。

根据泛在设备本体的定义，可以建立如表 2 所示的领域词汇表。

表2 泛在设备本体领域词汇表

类型	元数据	定义域	值域	描述
Class	Thing	/	/	基础本体
	Device	/	/	设备本体
	EntityDevice	/	/	形态性设备本体
	FunctionalDevice	/	/	功能性设备本体
	Service	/	/	隶属服务本体
	Interface	/	/	服务接口本体
Object Property	is_a	Thing	Thing	是（代表从属关系）
	hasEntityDevice	Device	EntityDevice	有形态性设备
	hasFunctionalDevice	Device	FunctionalDevice	有功能性设备
	hasService	FunctionalDevice	Service	有服务
	hasMandatoryService	FunctionalDevice	Service	有必备服务
	hasOptionalService	FunctionalDevice	Service	有可选服务
	hasInterface	Service	Interface	有接口
	hasMandatoryInterface	Service	Interface	有必备接口
	hasOptionalInterface	Service	Interface	有可选接口
	isEntityDeviceof	EntityDevice	Device	是 xxx 的形态性设备
	isFunctionalDeviceof	FunctionalDevice	Device	是 xxx 的功能性设备
	isServiceof	Service	FunctionalDevice	是 xxx 的服务
	isMandatoryServiceof	Service	FunctionalDevice	是 xxx 的必备服务
	isOptionalServiceof	Service	FunctionalDevice	是 xxx 的可选服务
	isInterfaceof	Interface	Service	是 xxx 的接口
	isMandatoryInterfaceof	Interface	Service	是 xxx 的必备接口
	isOptionalDeviceof	Interface	Service	是 xxx 的可选接口
Data Property	DeviceProperty	EntityDevice	/	设备属性
	Description	EntityDevice	string	设备描述
	Manufacturer	EntityDevice	string	设备厂家
	Model	EntityDevice	string	设备型号
	Name	EntityDevice	string	设备名称
	PowerRating	EntityDevice	float	设备额定功率
	Serial	EntityDevice	string	设备序列号
	DeviceParameter	EntityDevice	/	设备参数
	Status	EntityDevice	{on,off,sleep}	当前状态
	Country	EntityDevice	string	产地

3.2 泛在设备语义匹配

要实现智能空间中服务的自动发现和调用，面临着两个关键问题：

1. 服务发现不能仅仅依赖关键词搜索，而需要按照服务所提供的功能的实际意义进行搜索，这样才能找到确实需要的服务，而不是几个关键词所表达出的意义；
2. 服务调用和服务组装的自动化需要基于语义的互操作，服务之间必须能够理解互相交换的信息。然而即使一个服务的输出参数和另一个服务的输入参数的名字、类型都一样，也不一定能将它们连接起来，因为两个服务名称及其参数的实际含义不一定是相同的。

上述两个问题都需要基于语义的服务匹配。泛在设备语义匹配通过对智能空间进行信息-物理映射建模，在信息空间和物理空间建立了严格的映射关系。信息空间的服务可映射为物理空间本体中的关系或关系属性，由此可将服务匹配问题转化为本体相似度计算问题[14,15]，避免了推理过程的引入，提高了多本体环境下服务匹配的效率。

本体相似度一般可通过两种方法实现。一是以本体概念之间的相似性为基础，通过计算本体内或者本体间的语义相似性来实现，这种方法在基于 OWL-S 相似性的服务匹配中应用较为广泛；二是通过计算本体概念之间的逻辑关系来实现。LARKS[16]是最早基于本体概念之间的逻辑关系研究语义服务匹配的系统。LARKS 支持语法匹配和语义匹配，通过五种过滤器（上下文匹配、概要比较、相似性匹配、前面匹配和限制条件匹配）来比较两个概念之间的关系，并利用了关联网络来计算概念之间的相关性。在关联网络中，概念之间的关系有一般化、 特殊化以及正向关联等。不同匹配模型将分别计算不同的相似性或相似性的组合。

此外，还有一种混合式语义相似度计算。混合式语义相似度计算方法实际上是对语法和语义的综合考虑，即同时考虑了概念词的位置信息、边的类型、 概念词的属性信息等。代表算法有罗德里格斯（Rodriguez）[17]等人提出的算法模型。罗德里格斯方法同时考虑了概念词的位置信息和属性信息，具体包括被比较概念词的同义词集、语义相邻节点和区别特征项，其算法模型为：

$$Sim\left(a^P, b^Q\right) = w_w S_w\left(a^P, b^Q\right) + w_u S_u\left(a^P, b^Q\right) + w_n S_n\left(a^P, b^Q\right)$$

其中 w_w 、 w_u 、 w_n 分别表示同义词集、特征项、语义邻居节点间相似度的权重。

4 泛在设备互操作中间件

泛在机物协同环境包括各种计算机、家电、传感器、执行器、控制器等。这些设备的软硬件平台、功能、协议、形态差异很大，所以设备间的互操作和互协作存在很大的障碍。以智能家居网络为例，目前市场上中各种信息家电、家居、安防控制系统各式各样，彼此之间难以互联互通。

泛在设备互操作中间件[18]针对机物协同环境异构、不确定、复杂的特点，在动态环境中根据不同设备的特点和属性，将设备分为感知、环境、音视频、安全、功能、通信、人机接口、仪表和智能等类别，通过定义这些设备和服务的模型，构建基于设备能力的互操作拓扑，实现细粒度、构件化的设备和服务复用。

设备在物联网环境中有着重要的地位。每一个设备与物理世界中的其他实体有着各种各样的关系，并且作为物理实体，其自身就具有自主性、交互性、反应性和主动性的特征。因此，代理技术非常适合于泛在设备本体在分布式系统中的实现，异构设备/系统互操作的中间件中涉及的代理分为两种：实体设备代理和虚设备代理。

实体设备代理和虚设备代理是泛在设备物理实体在互操作层的计算实体。实体设备代理一方面通过和泛在网络中的各种实体设备进行通信和控制，对物理世界进行感知和影响；另一方面通过将 UPnP 服务封装，把实体设备的功能映射为信息空间的服务。实体设备是代理与设备进行通信的桥梁。由于泛在设备的种类繁多，厂家不同，所以实体设备接口部分通常要根据设备的不同进行单独设计，并根据设备所采用的通信方式调用相应的通信协议和接口。

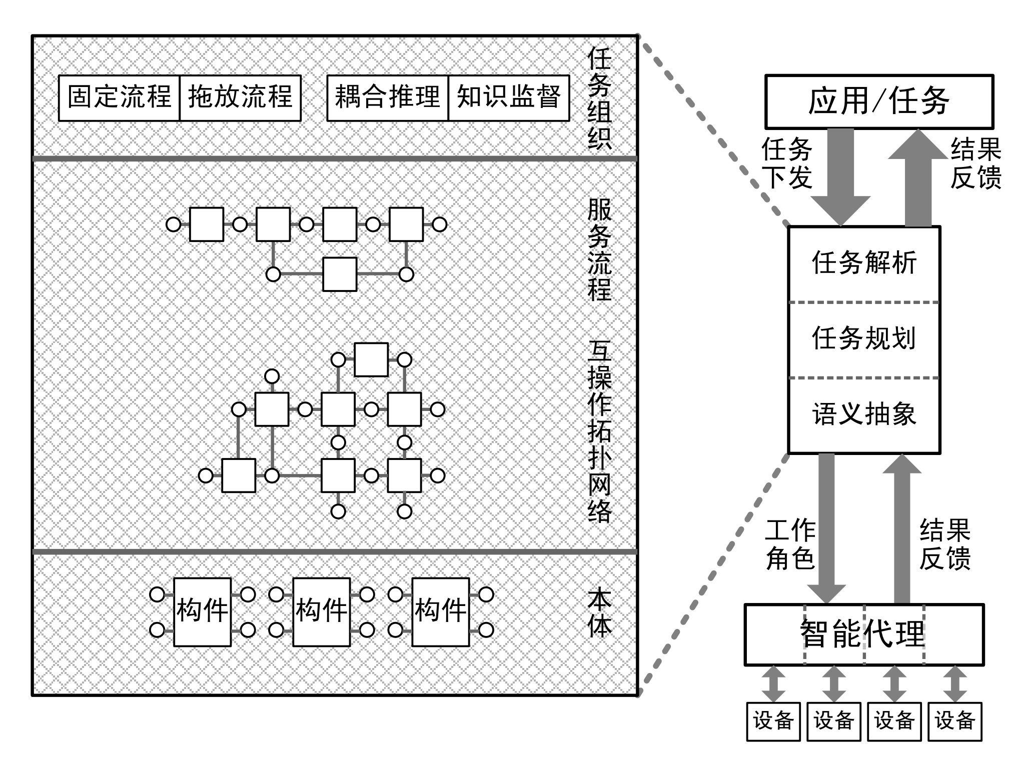


图2. 异构设备互操作中间件

除了实体设备代理之外，在互操作层还有一类起辅助作用的代理，称为虚设备代理。虚设备代理不需要与实体设备进行直接通信，而是通过 UPnP 协议调用实体代理的服务，间接对实体设备进行控制。为了实现智能空间的数据融合、情境感知、设备自主协同，可以用不同的虚设备代理完成不同的功能模块。

泛在设备互操作中间件如图 2 所示，大致可分为五个部分：

1. 泛在设备智能代理（Agent）：通过实体设备接口与泛在设备进行通信，并通过本体加载器将设备抽象为设备无关（ device independent）的本体构件，从而为设备的细粒度服务重组提供标准化的“积木”。
2. 互操作拓扑网络：根据本体构件的耦合情况，建立全局服务互操作拓扑网络，从而显式地表达服务之间的组合情况，为智能的服务流程规划建立基础。
3. 服务流程规划：根据互操作拓扑网络，进行服务流程规划，形成服务流程描述文档。我们实现了四种服务流程规划方法，分别是：
   – 固定流程：事先设计好，并用工作流建模语言描述出来的流程；
   – 拖放流程：使用拖放方式进行流程设计，并自动生成流程描述文档；
   – 耦合推理：根据服务耦合关系，采用有限状态机方法自动生成服务流程和描述文档；
   – 知识监督：根据物理空间的规则与知识，对服务流程的合理性进行验证。

4. 流程控制：根据流程规划生成的工作流描述文档，对泛在设备进行依次控制，并收集设备运行结果。
5. 任务分发与解析：通过手动方法输入任务的起始和终止条件，并下发给流程规划代理进行任务规划。

基于泛在互操作中间件，可以实现一种新的普适计算应用设计方法。这种设计方法的特点在于：

1. 设备的硬件接口、协议、语义可以是异构的，例如机顶盒和手机是基于 UPnP 标准，计算机是基于 IGRS 标准，传感器可以是基于 Zigbee 标准，甚至还可以有传统的串口、并口设备。所有的设备都可以通过实体设备代理转换成统一的标准协议；
2. 设备被抽象为实体无关的设备模型，通过描述文档定义其服务和参数的语义，并提供访问地址和协议类型；
3. 使用通用设备控制工具对设备的可用性进行测试；
4. 设计具体应用时，可以使用流程规划工具，通过拖放或自动规划方法，将多个设备服务进行重组合，设计出符合应用逻辑的服务流程；
5. 应用的运行由流程控制工具负责，流程控制工具根据流程规划描述文档依次调用设备服务，完成应用逻辑。

在未来的机物协同环境下，会有海量的泛在设备融入到环境，提供无所不在的计算服务。泛在互操作中间件可以根据用户需求，自发地组织构件化的设备元服务完成复杂的应用流程，无需用户分散精力进行控制。最终可以让计算机本身从人们的视线中消失，符合普适计算“无处不在”和“以人为本”的思想，体现了机物协同的本质特征。

5 “爱心小屋”中的机物协同技术

“爱心小屋”基于远程亲情互动技术，实现了手机-电视多屏互动、亲情沟通环境的自适应调节、远程文档的高保真呈现等功能，从而构建了一个低成本、易推广的家人之间有效沟通的亲情互动平台。其中，泛在机物协同技术为亲情沟通提供了互联互通的设备网络基础，为实现家人之间沟通所需的数据和服务共享构建了物联基础条件。

5.1 多屏互动技术

多屏互动技术的本质是在各种终端设备（手机、PAD、TV等）之间，实现多媒体（音频，视频，图片）内容的传输、解析、展示、控制等一系列操作，可以在不同平台设备上同时共享展示内容，丰富用户的多媒体生活。

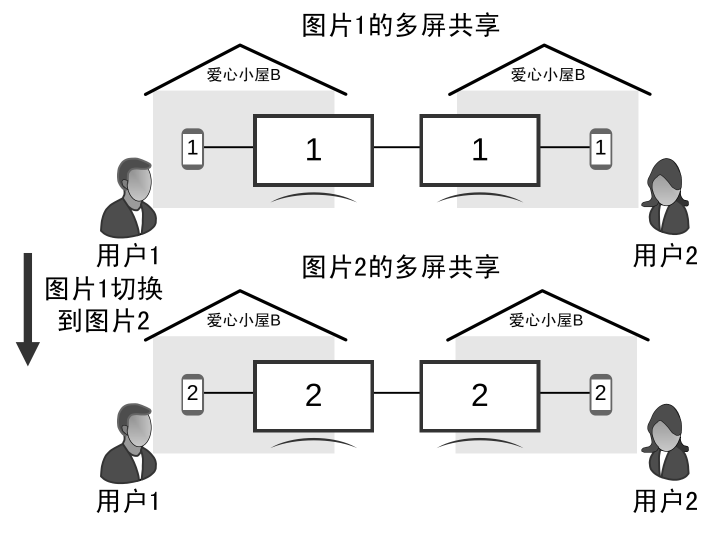


图3. 多屏共享示意图

“爱心小屋”基于多协议语义互译与设备互联技术，其研发工作主要针对网络电视、摄像头和智能手机，使之集成实现其基本功能和扩展功能。基本功能实现基于无线局域网（Wifi） 和蓝牙（Bluetooth）协议的语

义互译，支持无线局域网和蓝牙设备互联互操作；扩展功能将支持更为广泛的 IGRS/UPnP 协议的语义互译，针对远程亲情互动平台的功能扩展，支持更广泛的设备互联互操作。其所实现的多平台互动技术如图 3 所示，通过“爱心小屋”平台，用户 1 可以在与远程用户 2 实现交互式亲情沟通的同时，通过“爱心小屋”平台显示终端，将自己手持终端的桌面投影到用户 2 的手机上，用户 1 手持终端显示改变时，会带动平台显示终端和用户 2 的手持终端显示的同步变化，实现手持终端和平台显示终端的多屏同步互动。

“爱心小屋”平台所使用的资源共享呈现系统主要是用来实现沉浸式交互与资源共享的同步响应机制、沉浸式交互与共享资源呈现系统的图形用户界面（GUI ）融合机制。与智能电视沉浸式交互系统的有机协调是资源共享与呈现系统的重点研发内容。基于混合图像编码的远程屏幕共享将研究实现高清混合图像编码算法、计算机桌面图像序列编码算法、高效截屏技术和消除编码效应的后处理技术，实现高效截屏和屏幕共享。

5.2 用户体验质量的视频评估及智能灯光控制

基于用户体验质量[6]的视频评估及智能灯光控制系统如图 4 所示。系统由计算机、摄像头和背景灯组成。摄像头用于采集用户的视频图像信息；计算机从视频中提取用户的脸部图像，并根据对脸部图像的分析来对视频质量进行评估，进而控制背景灯的光照强度；背景灯强度的调节将改变环境光的强度，从而提高用户脸部图像的质量，实现高质量的视频通信。

智能灯光控制系统包含两种形式的机物协同：（1）**摄像头和计算机之间的协同** 在视频通讯过程中，计算机将根据应用需求开启摄像头并采集视频数据。为了提高视频交互的质量，便于利用评估算法对视频质量进行评估，计算机会控制摄像头的云台进行旋转，将用户的图像自动定位在所采集视频的中央区域；（2）**计算机与灯光之间的协同** 计算机通过对视频质量的评估，根据灯光控制策略制定每一个背景灯的最优照明强度，并根据策略发送控制命令给背景灯的控制器，实现背景灯照明强度的自动调节。

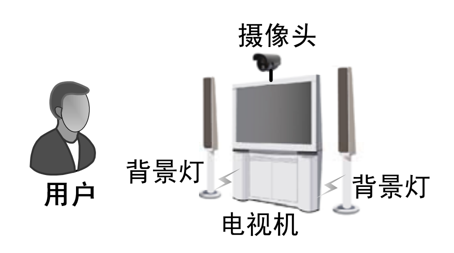


图4.　基于 QoE 的视频评估及智能灯光控制系统示意图

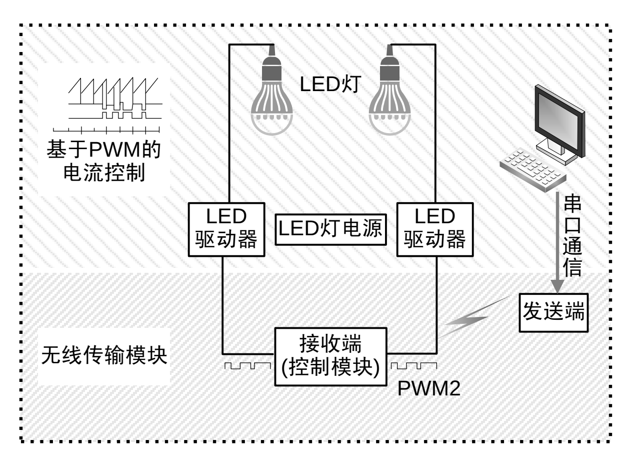


图5.　基于 PWM(脉宽调制)的背景灯光协同控制

计算出控制决策之后，背景光源控制模块根据决策协同控制灯光亮度，如图 5 所示。系

[6] QoE，Quality of Experience，

统利用脉冲宽度调制（PWM）来调节灯光亮度，通过调节脉冲的频率将灯光亮度分为 128 个等级。计算机可通过 433MHz 无线通信模块对灯光控制模块进行协同控制。

5.3 高清实物成像共享

高清实物成像共享是指通过摄像机和网络对实物进行实时展示的一种技术，如图 6 所示，通过摄像机对需要传输的文档进行远程传输和显示。与通用视频传输技术不同的是，由于需要传输的是静态物体，为了减少数据量的传输，大都采用静态图片的形式进行。但是由于视频采集设备的分辨率较低，需要通过视频超分辨率技术（即由多帧低分辨率视频图像重建一幅高清的静止图片）提高图片的主观质量。在对图片进行编码传输的过程中，由于是与“爱心小屋”的主视频信息进行混合传输的，为了不干扰主视频流的传输，需要采用分层编码和重建技术。“爱心小屋”采用的是基于二叉树的图片编码方式，在 30 倍压缩率时解码图像近似无损，图像细节保持完整并且计算简单。

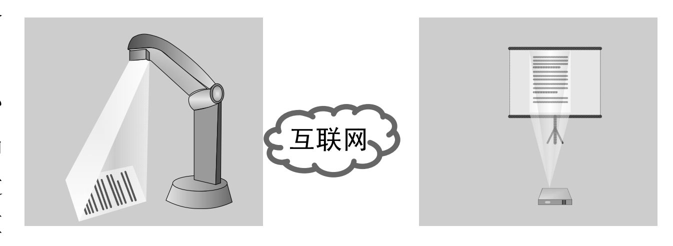


图6. 高清实物展示系统

6 结束语

本文以泛在设备互操作技术为重点，介绍了机物协同技术的本质和特点，用“爱心小屋”的远程亲情互动系统作为实例，印证了机物协同技术的重要性和平台基础支撑作用。随着通信网络、移动计算、嵌入式系统、传感器等技术的发展和日益成熟，以泛在设备互操作为基础的机物协同技术必将极大地提升人们随时随地、方便自由地享用计算和信息服务的能力。

参考文献：

[1] 朱珍民, 何哲. 泛在设备互操作技术研究进展. 《创新求实》, 2010, vol. 86, pp 42-45.

[2] UPnP Forum, http://www.upnp.org/.

[3] 刘文志, 宋戚扬, 高林, 卓兰. DLNA 智能家庭网络互操作性探讨. 信息技术与标准化, 2009.

[4] DLNA. DLNA Whitepaper, 2006, http://www.dlna.org/.

[5] DLNA. DLNA Overview and Vision Whitepaper, 2007, http://www.dlna.org/.

[6] IEC 62481-1 The DLNA Home Networked Device Interoperabllity Guidellnes, 2007.

[7] DPWS. http://docs.oasis-open.org/ws-dd/ns/dpws/2009/01.

[8] SJ/T 11310-2005. 信息设备资源共享协同服务第一部分：基础协议, 2005.

[9] 闪联工作组. 闪联应用白皮书, 2003.9.

[10] ITopHome . http://www.itophome.com/.

[11] OSGi. http://www.osgi.org.

[12] IEEE 1451.2-1997 IEEE Standard for Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators: Transducer to Microprocessor Communication Protocols and Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) Formats. 1997.

[13] OWL-S: Semantic Markup for Web Services, http://www.w3.org/Submission/ OWL-S/.

[14] J. Heflin, J. Hendler. Dynamic Ontologies on the Web. *Proceedings of the Seventeenth National Conference on Artificial Intelligence*, 2000, pp. 443—449.

[15] M Paolucci, T Kawamura, T R Payne, K Sycara. Importing the Semantic Web in UDDI. *Web Services, E-Business and the Semantic Web*. Springer, 2002, pp. 815-821.

[16] Sycara K, Widoff S, Klusch M, et al. Larks: Dynamic Matchmaking Among Heterogeneous Software

Agents in Cyberspace. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 2002, vol. 5, no. 2, pp. 173-203.

[17] H. Rodriguez, S. Climent, P. Vossen, L. Bloksma, W. Peters, A. Alonge, F. Bertagna, and A. Roventini. The Top-Down Strategy for Building Eurowordnet: Vocabulary Coverage, Base Concepts and Top Ontology. *Computers and the Humanities*, vol. 32, pp. 117--152, 1998.

[18] 陈援非. 面向智能空间的泛在设备互操作技术研究. 博士论文. 2011.

作者简介：

叶　剑： 中国科学院计算技术研究所，普适计算研究中心，高级工程师，jye@ict.ac.cn
朱珍民： 中国科学院计算技术研究所，普适计算研究中心，正研级高级工程师
陈援非： 中国科学院计算技术研究所，普适计算研究中心，高级工程师
沈燕飞： 中国科学院计算技术研究所，普适计算研究中心，助理研究员
王双全： 中国科学院计算技术研究所，普适计算研究中心，助理研究员
陈益强： 中国科学院计算技术研究所，普适计算研究中心主任，研究员

普适计算研究中心简介

普适计算研究中心（RCPC-- Research Center for Pervasive Computing）创立于 2007 年 3 月，致力于普适计算研究领域中核心技术的原始创新以及低成本信息化先进技术的集成创新。

普适计算研究中心目前有四个课题组，分别是感知计算、嵌入式系统、实时信号处理以及自然人机交互。主要研究内容包括智能感知与交互技术、情境计算、嵌入式与先进终端技术、高速数字信号处理技术、无线传输技术、数字内容处理技术，以及基于“龙芯”的低成本信息化应用集成技术等。